Dello sdoppiamento delle onde corrispondenti ai suoni armonici, e della coesistenza di piu onde vibranti nella medesima colonna aerea.

Memoria VI del **Prof. Zantedeschi.**

(Vorgelegt in der Sitzung vom 22. October 1857.)

Due furono i mezzi immaginati dai fisici per rendere visibili ed evidenti i movimenti intestini molecolari suscitati ne' corpi. L'uno consiste nel comunicare questi movimenti molecolari ad un liquido contenuto in un solido vibrante, e l'altro nel comunicare questi piccoli movimenti a corpi leggeri o a corpi ridotti in minutissime particelle sovrapposti ai corpi, che sono in movimento vibratorio. Noi studieremo l'uno e l'altro di questi metodi, e riferiremo le leggi, che furono dedotte da questi studii, specialmente da Bernoulli. —

Dei tremiti o delle vibrazioni comunicate alla superficie di un liquido dal corpo sonoro.

Noi dobbiamo a Galileo un'ingegnoso e semplicissimo esperimento, col quale rese visibile la comunicazione del tremito alla superficie di un liquido dal corpo sonoro o vibrante.

„Se coll'archetto si toccherà gagliardamente una corda grossa „d'una Viola, appressandogli un bicchiere di vetro sottile e polito, „quando il tono della corda sia all'unissono del tono del bicchiere, „questo tremerà, e sensatamente risuonerà. Il diffondersi poi amplamente l'increspamento del mezzo intorno al corpo risuonante apertamente si vede nel far suonare il bicchiere, dentro il quale sia dell' „acqua, fregando il polpastrello del dito sopra l'orlo; imperocchè „l'acqua contenuta con regolatissimo ordine si vede andare ondeggiando; e meglio ancora si vedrà l'istesso effetto fermando il piede „del bicchiere nel fondo di qualche vaso assai largo, nel quale sia „dell' acqua sin presso all'orlo del bicchiere, che parimenti facendo „risuonare colla confricazione del dito, si vedranno increspamenti

„nell'acqua regolatissimi, e con gran velocità spargersi in gran distan-
„za intorno al bicchiere, ed io, prosegue Galileo, più volte mi sono
„incontrato nel fare al modo detto suonare un bicchere assai grande,
„e quasi pieno d'acqua, a vedere prima le onde nell'acqua con estre-
„ma egualità formate; ed accadendo talvolta, che il tono del bicchiere
„salti un ottava più alto, nell' istesso momento ò visto ciascheduna
„delle dette onde dividersi in due: accidente che molto chiaramente
„conclude la forma dell' ottava esser la dupla.“ (Opere di Galileo, tomo III, pag. 57, 58 dell' ediz. di Padova del 1744.)

La forma dell' ottava dedotta dall' esperimento di Galileo è il fondamento di quella teoria, che noi stabiliremo ragionando degli strumenti a vento. Io ò reso evidente la comunicazione del tremito alla superficie dei liquidi coll'apparato comune dei fisici, che ritirai dall' officina di Fabre e Kunemann di Parigi. Esso era in armonia col diapason di 128 vibrazioni.

Dei tremiti o vibrazioni comunicate ai corpi leggeri solidi.

Dobbiamo egualmente a Galileo la comunicazione dei tremiti vibratorj ai corpi leggeri solidi, comunicanti con altri solidi in vibrazione. Ecco le precise parole di Galileo, colle quali espone l'esperimento eseguito: „Toccata la corda, comincia e continua le sue vibra-
„zioni per tutto il tempo, che si sente durar la sua risuonanza; queste
„vibrazioni fanno vibrare e tremare l'aria, che le è appresso, i cui
„tremori e increspamenti si distendono per grande spazio, e vanno a
„urtare in tutte le corde del medesimo strumento, ed anco di altri
„vicini: la corda, che è tesa all'unissono colla tocca, essendo disposta
„a fare le sue vibrazioni sotto il medesimo tempo, comincia al primo
„impulso a muoversi un poco, e sopraggiungendole il secondo, il ter-
„zo, il ventesimo, e più altri, e tutti negli aggiustati e periodici tempi,
„riceve finalmente il medesimo tremore che la prima tocca, e si vede
„chiarissimamente andar dilatando le sue vibrazioni giusto allo spazio
„della sua motrice. Questo ondeggiamento, che si va distendendo per
„l'aria, muove e fa vibrare non solamente le corde, ma qualsivo-
„glia altro corpo disposto a tremare e vibrarsi sotto quel tempo della
„tremante corda: sicchè se si ficcheranno nelle sponde dello strumento
„diversi pezzetti di setole, o di altre materie flessibili, si vedrà nel
„suonare il cembalo tremare or questo or quel corpuscolo, secondo

„che verrà toccata quella corda, le cui vibrazioni van sotto il mede-
„simo tempo: gli altri non si mouveranno al suono di questa corda,
„nè quello tremerà al suono d'altra corda“ (Galileo, opere citate, pag. 57).

Da questo esperimento è stabilita la legge delle risuonanze armoniche, che consiste nella proprietà del corpo sonoro di fare le sue vibrazioni sotto il medesimo tempo; d' onde ne ricavò il Galileo la cagione, per la quale la corda vibrante muove e fa realmente suonare quella non solo, che all' unissono le è concorde, ma anco all' ottava e alla quinta.

Dei tremiti o vibrazioni comunicate alle polveri o particelle minute collocate sopra lamine elastiche, e della legge dello sdoppiamento nelle polveri.

L' esperimento di Galileo delle onde, che nascono alla superficie dei liquidi dal tremore del corpo che risuona, è bellissimo, ma è sfuggevole e intieramente cessa senza lasciare traccia di sè al cessare del tremito del corpo sonoro. Cadde in pensiero a Galileo di istituire altra esperienza, colla quale poter conservare perpetuamente i mutamenti, che alla superficie de' corpi vibranti si manifestano. Io riferirò le parole, colle quali Galileo espresse il pensiero e lo recò ad effetto; e ciò tanto più, perchè questa ingegnosissima esperienza è il fondamento della teoria delle lamine elastiche, della quale comunemente si riconosce inventore il Chladni.

„Bellissima osservazione, scrive il Galileo, per poter distinguere
„ad una ad una le onde nate dal tremore del corpo che risuona, che
„son poi quelle, che diffuse per l' aria vanno a far la titillazione sul
„timpano del nostro orecchio, la quale nell' anima si diventa suono:
„ma dove che il vederle ed osservarle nell' acqua non dura se non
„quando si continua la confricazione del dito, ed anco in questo tempo
„non sono permanenti, ma continuamente si fanno e si dissolvono,
„non sarebbe bella cosa, quando se ne potesse far con grande esqui-
„sitezza di quelle che restassero lungo tempo, dico mesi ed anni,
„sicchè desse comodità di poterle misurare, ed agiatamente misu-
„rare?“ Ecco come il caso condusse Galileo a recare all' atto il suo concepimento: „Raschiando con uno scarpello di ferro tagliente una
„piastra di ottone per levarle alcune macchie, nel muovervi sopra lo
„scarpello con velocità sentii una volta e due, tra molte strisciate,

„fischiare ed uscirne un sibilo molto gagliardo e chiaro, e guardando „sopra la piastra, vidi un lungo ordine di virgolette sottili, fra di loro „parallele, e per egualissimi intervalli l' una dall' altra distanti. Tor- „nando a raschiar di nuovo più e più volte, mi accorsi, che solamente „nelle raschiate che fischiavano, lasciava lo scarpello le intaccature „sopra la piastra, ma quando la strisciata passava senza sibilo, non „restava pur minima ombra di tali virgolette. Replicando poi altre „volte lo scherzo, strisciando ora con maggiore ed ora con minore „velocità, il sibilo riusciva di tono or più acuto, ed or più grave, ed „osservai i segni fatti nel suono piu acuto esser più spessi, e quelli „del più grave più radi, e talvolta ancora, secondo che la strisciata „medesima era fatta verso il fine con maggiore velocità, che nel „principio, si sentiva il suono andarsi inacutendo, e le virgolette si „vedeva esser andate inspessandosi; ma sempre con estrema lindura „e con assoluta equidistanza segnate; ed oltre a ciò nelle strisciate „sibilanti sentiva tremarmi il ferro in pugno e per la mano scorrermi „certo rigore. Ed in somma si vede, e si sente fare al ferro quello „per appunto , che facciamo noi nel parlare sottovoce e nell' intonar „poi il suono gagliardo, che mandando fuora il fiato senza formare il „suono, non sentiamo nella gola e nella bocca farsi movimento alcuno, „rispetto però, ed in comparazione del tremore grande, che sentiamo „farsi nella laringe e in tutte le fauci nel mandar fuora la voce, e „massime in tono grave e gagliardo. Ho anco talvolta fra le corde del „cembalo notatone due unissone alli due sibili fatti strisciando al modo „detto, e di più differenti di tono, dei quali due precisamente dista- „vano per una quinta perfetta, e misurando poi gli intervalli delle vir- „golette dell' una e dell' altra strisciata si vedeva la distanza, che „conteneva quarantacinque spazj dell' una, contenere trenta dell' al- „tra; quale veramente è la forma, che si attribuisce alla diapente“ (Galileo, opere citate, tomo III, pag. 59).

In questo esperimento delle strisciate resta riconfermata la legge della forma che si attribuisce all' ottava acuta, e che è la dupla. E nella gentile e graziosa osservazione delle corde appare la lunghezza della corda, che si deve attribuire alla diapente; e quindi s'intende perchè gli antichi dicessero che l'ottava era contenuta fra il due e l' uno, e la quinta fra il tre e il due. —

La legge della dupla di Galileo fu da me confermata coll'apparato di Chladni perfezionato da Savart, che io ritirai dai meccanici

Fabre e Kunemann di Parigi, eseguito sul tipo che esiste al Collegio di Francia.

Per toni equissoni io ò confermato che le figure acustiche sono simili, comunque varii la figura delle piastre. Ho veduto in quattro piastre, due delle quali erano quadrate e due circolari, che per toni equissoni si ebbero quattro parabole, coi vertici al centro e coi rami al perimetro, nei circoli nella direzione dei raggi, e nei quadrati nella direzione delle diagonali.

Per una stessa lamina i toni equissoni assumono figure, che stanno in ragione diretta del numero delle vibrazioni. Lo comprovai con una piastra circolare, il tono fondamentale della quale era il *do* di 128. Essa diede una figura composta di quattro parabole coi vertici al centro, e coi rami sulla direzione dei raggi, come ò detto. Eccitando in questa lamina il *do* dell'ottava superiore, cioè di 256, si ebbero otto parabole simmetricamente disposte, come le quattro precedenti; ed eccitando il *do* della seconda ottava acuta, ossia il *do* di 512 vibrazioni, ottenni sedici parabole pur simmetricamente disposte come le precedenti. In un caso speciale ò ottenuto anche diciotto parabole, il che comprova che l' ultimo *do* (512) in questo caso era eccedente.

La determinazione di questi toni fu esequita dal Sig. Maestro Giuseppe Marzolo sul suo organo automatico, che si ritrovava nella scuola di fisica ad istruzione della studiosa gioventù; e le note precise furono ricavate coll'arco dalle piastre dal sig. Assistente alla scuola di fisica Luigi ingegnere Borlinetto. Questi esperimenti sono delicatissimi, e addimandano molta destrezza nel maneggio dell' arco, onde le note ricavate sieno nette e precise. Ma io debbo qui soffermarmi nel registrare la legge dello sdoppiamento delle figure acustiche a conferma di quanto fu scoperto da Galileo. Facendo trapasso da un' ottava grave ad una acuta senza levare l' archetto, ò veduto che all' atto che fu raggiunto il tono dell' ottava acuta le curve paraboliche si sdoppiavano. Per questo fenomeno abbisogna molta destrezza nello sperimentatore, onde in istante fare trapasso dall'una all'altra ottava; altramente nel periodo di transizione, avverrebbero perturbamenti ed irregolarità nel pulviscolo designante le figure. Non ò però giammai potuto verificare con precisione il fenomeno inverso, ossia la riunione di sedici parabole in otto, o di otto in quattro. In questo caso, in cui si fa trapasso dall' ottava acuta all' ottava grave,

abbiamo un contrasto o un conflitto tra il doppio numero delle vibrazioni esistenti nelle molecole della piastra, e il semplice numero delle vibrazioni, che si cerca di suscitare coll' archetto. Le prime in istante non si possono ridurre alla metà.

In tutti questi descritti esperimenti ò riscontrato, che l'estinguimento del suono non fu mai contemporaneo alla quiete del pulviscolo; ò veduto sempre che cessato il moto del pulviscolo, il suono tuttavia continuava, sebbene con intensità decrescente. Il che parve comprovare che al moto del pulviscolo abbisognino vibrazioni più intense di quelle, che sono necessarie a destare la sensazione del suono. In questo caso sembrava che il suono reso cupo uscisse quasi dall' interno della piastra vibrante. Il movimento pareva fosse crescente dall' esterno all' interno. Ponendo attenzione ai limiti delle linee nodali, si scorse una specie di sfumatura, che occupava il campo interposto alle medesime.

Dello sdoppiamento delle onde aeree.

Lo sdoppiamento delle onde dimostrato nei corpi solidi e nei liquidi fu pure da me verificato nelle onde aeree con una preparazione speciale delle canne, che io feci costruire dal sig. Giuseppe Maestro Marzolo, il quale si prestò pure all' eseguimento degli esperimenti, che io gli proposi. M'ebbi per tal modo la certezza di avere evitato ogni illusione, e di aver conseguito la costanza degli effetti colla rinnovazione degli esperimenti.

La prima canna che fu preparata era della lunghezza di 0,782, del lato quadrato di 35 millimetri e dell' apertura della bocca di 10 millimetri. La canna era di noce lucidata ad olio, colla parete corrispondente al piano della bocca di pelle di capra ben uniforme, ed ugualmente tesa in tutte le direzioni. Fu collocata orizzontalmente, e verificata la posizione con livello a bolla.

La nota fondamentale fu *mi* di 4 piedi = 307,50 vibrazioni. —

Aspersa di un velo leggero di sabbia, il movimento sussultorio o vibratorio, si manifestò in tutta la lunghezza della membrana, decrescente dal mezzo verso i bordi di appoggio, che vengono a costituire i nodi naturali del sostegno. Aggravando di sabbia successivamente per gradi la membrana, il tono s'innalzò fino ad una terza circa, e l'intensità andò diminuendo successivamente fino al totale spegnimento sensibile. Si vede ancor qui, come ò provato con

due altre canne minori, che il moto vibratorio delle pareti è indispensabile al moto vibratorio della colonna d'aria, e che quindi è falsa la dottrina di que' fisici, che ammettono essere il moto vibratorio aereo indipendente dal moto vibratorio delle pareti solide, che circonscrivono la colonna d'aria vibrante.

Caricato il mantice, che era di 5 piedi, di un maggior peso, la canna diede l'ottava che fu la più netta, armonica e pastosa, per così dire. Spargendo allora di un velo di sabbia la parete di pelle, la sabbia si divise in due ventri, in parti uguali, separate da un piano nodale, sul quale la sabbia si era raccolta e resa quasi immobile. Osservai che all' istante, in cui il mantice diminuì di forza e si riprodusse la fondamentale, il piano nodale si sciolse, e si formò una sola colonna vibrante.

In un esperimento si è caricato il mantice un po' meno di quello che era richiesto alla produzione dell' ottava. In questo caso il piano nodale non fu bene determinato e preciso; ma si udirono due suoni concomitanti, la fondamentale e l'ottava, che continuarono per tutto quel tempo in cui il mantice fu in azione, cioè per due minuti primi circa: il che dimostra nella stessa colonna aerea l'esistenza di onde vibranti di diversa lunghezza e costituite da un numero differente di vibrazioni.

Fu applicata al mantice una seconda canna della lunghezza di 0,90, del lato quadrato di 5 centimetri e dell' apertura della bocca, per la fondamentale, di 17 millimetri. Essa era di noce lucidata ad olio, ma in luogo di avere una parete con una sola membrana, ne aveva due sul piano della bocca, e separate fra di loro da uno strato d'aria della grossezza di 8 millimetri, che corrispondeva allo spessore della parete solida. La fondamentale era il *do* di 4 piedi = 256.

Ottenuta la tonica, disposta che fu orizzontalmente, si vide ancor qui il velo di sabbia, del quale si coperse, avere un movimento sussultorio in tutta la lunghezza, decrescente dal mezzo verso i bordi. Vibrava adunque l'aria interna, l'interna membrana, il velo d'aria frapposto alle due membrane, e finalmente ancora la membrana esteriore. Aggravata questa membrana esteriore di un peso di sabbia da non poter dare più i suoi moti sussultorj, il suono cessò interamente, come nell' esperimento antecedente.

Col peso maggiore sul mantice, non si è potuta avere l'ottava di 2 piedi pura ed isolata; fu sempre concomitante colla fondamentale

per tutto quel tempo che durò sostenuto il soffio dell' aria del mantice. Ebbi però la dodicesima, cioè il *sol* di 2 piedi, netta e pura, coll' apertura della bocca di 11 millimetri. Aspersa la membrana di un velo leggero di sabbia, si ebbero tre ventri conterminati da due piani nodali intermedii, in modo che la lunghezza della canna fu divisa in tre parti uguali, cioè ciascuna parte di $0^{m}\cdot30$.

Ottenuta la quindicesima, ossia *do* di 1 piede pura, coll' apertura della bocca di 9 millimetri, ed aspersa la membrana di un sottile strato di sabbia, apparvero quattro ventri con tre piani nodali intermedii. La lunghezza di ciascun ventre fu il quarto di tutta la lunghezza della colonna vibrante, cioè di $0^{m}\cdot225$.

Coll' apertura della bocca di 9 millimetri, e con peso minore sul mantice del precedente, ottenni la diecisettesima, ossia *mi* di 1 piede; e col solito velo di sabbia vidi dividersi la colonna d'aria vibrante in cinque ventri uguali di 18 centimetri, conterminati da quattro piani nodali intermedii. Dobbiamo avvertire che i piani nodali non sono formati o conterminati da linee rette, ma da curve concave rivolte ai ventri, che vengono a poggiare sopra i punti di attacco della membrana alle parti solide della canna.

Gli esperimenti, che ò instituiti superiormente con canne aperte, furono ancora da me rinnovati, coadiuvato dal sig. Marzolo, sopra le stesse canne, chiuse con emboli applicati all' estremità opposte alla bocca.

Il primo di questi esperimenti fu eseguito colla canna della lunghezza di $0^{m}\cdot782$, la quale fu chiusa da un embolo alla parte opposta alla bocca. Lo spessore dell' embolo era di 7 millimetri, per cui la lunghezza della canna si ridusse a $0^{m}\cdot775$.

Dapprima ottenni la fondamentale, che fu *mi* del *do* di 8 piedi. Appresso avuta la dodicesima, ottenni col metodo del pulviscolo leggero il nodo a $^2/_3$ partendo dalla bocca, o ad $^1/_3$ partendo dalla base dell' embolo; cioè a $0^{m}\cdot517$ dalla bocca, e a $0^{m}\cdot258$ crescenti, partendo dalla base dell' embolo. —

Ho osservato che comprimendo col dito il piano nodale, il tono rimase costante; ma comprimendo col dito un punto qualunque di ciascuno dei ventri, il tono s'innalzò; ed accrescendo la pressione da impedire il moto vibratorio della membrana, il suono si estinse: il che fu una conferma di quanto ò stabilito in altri esperimenti. —

I numeri 5 e 7 non si poterono avere isolati, ma sempre concomitanti alla fondamentale; in questi due casi il piano nodale non si è

potuto formare netto e preciso. Ho veduto che la sabbia era in uno stato di sussulto, mentre i ventri erano netti da ogni granello di sabbia. La concomitanza de' due suoni è stata costante per tutto il tempo che il mantice fu in azione. Questo fatto comprova l'esistenza contemporanea dell'onda intera coi terzi dell'onda. Vibrava adunque simultaneamente in tutta la lunghezza l'onda diretta e riflessa, e simultaneamente ancora vibravano i $^2/_3$ diretti ed $^1/_3$ diretto e riflesso.

La canna della lunghezza di $0^{m.}$,90, detratto lo spessore dell'embolo, si ridusse della lunghezza di 0,895, ossia del doppio $1^{m.}$,79. Con essa ebbi la fondamentale *do*♯ di 8 piedi, ed appresso ottenni la dodicesima concomitante alla fondamentale. Il piano nodale non fu netto e preciso, come ò detto superiormente in simili casi. Ebbi bensì isolata la diecisettesima, ed in questo caso i piani nodali furono simmetricamente distribuiti tutti a $0^{m.}$,179; ma però furono più distinti i due primi, partendo dalla bocca: il che comprova, che la forza del moto vibratorio va diminuendo a mano a mano che si avvicina all'estremo della canna, per cui decresce bensì l'intensità, ma non il tono.

I risultamenti riferiti della simultaneità di due suoni distinti coesistenti sulla medesima colonna aerea vibrante è un argomento validissimo per conchiudere alla coesistenza di più onde elettriche in direzioni opposte sul medesimo filo conduttore, le quali sono il veicolo della simultanea trasmissione di più dispacci in direzioni contrarie. Io riferirò a verbo le precise parole del Cosmos (Volume 11, Livraison 7. — 14 août 1857, pag. 172), colle quali è riportato l'esperimento di Whitehouse in circuiti chiusi ed isolati, e lascierò che i dotti confrontino i miei originali esperimenti eseguiti in Padova nel 1854 — 27 ottobre e 4 novembre, — e pubblicati negli Atti dell' Imperiale Accademia delle Scienze in Vienna, e in quelli dell' I. R. Istituto Veneto, e ne portino giudizio:

„M. Whitehouse a trouvé dans ces experiences la confirmation „de ce fait capital, déjà observé par lui sur des lignes plus courtes, „que plusieurs ondes électriques peuvent coexister dans un circuit „tres-long, non interrompu et complétement isolé, que chacune de „ces ondes peut arriver à son tour à sa destination, de manière à „produire tres-distinctement le signal qu'il s'agit de transmettre.“

Per la relazione originale di questo risultamento si vegga il Mecanic's Magazine, che si pubblicò a Londra, in data dell'otto

agosto 1857. In quella maniera che la natura si è a me rivelata in Italia nel 1854, si è pure rivelata a Whitehouse in Inghilterra nel 1857. Le opinioni degli uomini si cangiano; ma le leggi della natura rimangono le stesse. Il silenzio, al quale furono ridotti alcuni giornali scientifici, come il Nuovo Cimento di Pisa e Torino, e la Biblioteca Universale di Ginevra, è la prova più manifesta della erroneità delle dottrine, che ànno sostenute. Non fu che il Belli a Pavia e il Bellavitis a Padova, che replicarono i sofismi degli altri, senza aggiugnere fatto veruno.

SITZUNG VOM 10. DECEMBER 1857.

Vorträge.

Über die Bildung und Umbildung einiger Mineralien in Süd-Tirol.

Von **Dr. Ferdinand Frhr. v. Richthofen.**

(Vorgetragen in der Sitzung vom 30. April 1857.)

Seitdem Lyell vor nunmehr dreissig Jahren das Studium der gegenwärtig an der Oberfläche der Erde stattfindenden Veränderungen angeregt hat, um auf inductivem Wege auf die Vorgänge in früheren Perioden schliessen zu können, ist diese Seite der geologischen Wissenschaft, gewissermassen die Physiologie der Erde, mächtig weiter entwickelt worden und ihr verdankt die Geologie die glänzendsten Resultate, welche sie seit jener Zeit gewann. Während Lyell, De la Bèche und die meisten ihrer Nachfolger auf diesem Wege sich hauptsächlich der Beobachtung der mechanischen Vorgänge zuwandten, blieb es den Deutschen vorbehalten, den chemischen Veränderungen auf der Erdoberfläche gleiche Geltung zu verschaffen. Indem man die in der Natur stattfindenden Processe im Laboratorium nachahmte, bahnte man aber auch zugleich eine genauere Forschungsmethode an; denn es gelang jetzt, durch subtile Beobachtung einer Erscheinung die Analogie des natürlichen Bildungsprocesses mit dem durch das Experiment beobachteten nachzuweisen.